



Translation of Title and Abstract of DE 196 00 223 A1

(54) Device for the production of plasmas using microwaves

(57) A device for the production of microwave plasmas with a microwave generator 1 and its coupling system to a waveguide resonator 5 which encloses a plasma chamber 7 is proposed, the short side of the cross-section of the resonator 5 lying parallel, facing the z axis, in the common wall with the chamber 7, and the microwave power being coupled from the resonator 5 into the chamber 7 via coupling points 6 in this short cross-sectional side. The coupling points are preferably formed as azimuthal slot couplers in the common wall of 5 and 7. The reference numbers relate to

Figure 1.

The reference numerals relate to Figure 1.

BEST AVAILABLE COPY

18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 196 00 223 A 1

21 Aktenzeichen: 196 00 223.0
22 Anmeldetag: 5. 1. 96
23 Offenlegungstag: 17. 7. 97

51 Int. Cl.®:
H 05 H 1/46
H 01 J 37/32
H 01 P 5/08
// H 01 L 21/3065,
B 01 J 19/08

DE 196 00 223 A 1

71 Anmelder:

Spitzl, Ralf, Dr. Dipl.-Phys., 53639 Königswinter, DE;
Aschermann, Benedikt, Dipl.-Phys., 42111
Wuppertal, DE

72 Erfinder:

Spitzl, Dr. Dipl.-Phys., Ralf, 53639 Königswinter, DE;
Aschermann, Dipl.-Phys., Benedikt, 42111
Wuppertal, DE; Walter, Marko Dipl.-Ing., 42349
Wuppertal, DE

58 Entgegenhaltungen:

DE 4 11 13 142 A1
DE 42 35 914 A1
FR 26 68 676 A1
FR 26 47 293 A1
US 50 83 330

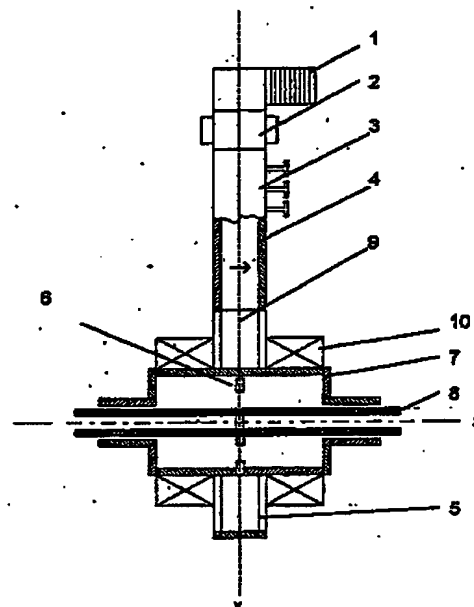
US 37 78 856
US 34 76 968

J. Appl. Phys. Bd. 67, 1990, S. 115-123;
Meinke/Gundlach: Taschenbuch der
Hochfrequenz-technik, Springer Verlag Berlin,
1982, S. 302-318 u. 326-332, 461-468;
J. Vac. Sci. Technol. Bd. A13, 1995, S. 2074-2085;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung zur Erzeugung von Plasmen mittels Mikrowellen

57 Eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellenplasmen mit einem Mikrowellenerzeuger 1 und dessen Ankopplung 7 an einen Hohlleiterresonator 5, der eine Plasmekammer 7 umfaßt wird vorgeschlagen, worin die kurze Seite des Querschnitts des Resonators 5 parallel der Achse-z zugewandt in der gemeinsamen Wand mit der Kammer 7 liegt und die Mikrowellenleistung aus dem Resonator 5 über Koppelstellen 8 in dieser kurzen Querschnittsseite in die Kammer 7 eingekoppelt wird. Die Koppelstellen sind bevorzugt als azimutale Schlitzkoppler in der gemeinsamen Wand von 5 und 7 ausgeführt. Die Bezugszeichen beziehen sich auf Figur 1.



DE 196 00 223 A 1

Plasmen von unterschiedlicher Art werden nach zahlreichen Verfahren erzeugt und z. B. für die Modifikation von Substraten verwendet. Die Plasmabehandlung dient z. B. der Beschichtung, Reinigung und Ätzung von Substraten, in der Medizin zur Behandlung von Implantaten sowie in der Technik zur Abgasreinigung. Die Geometrie der zu behandelnden Werkstücke reicht von flachen Substraten, Faserbündeln oder bahnförmigen Materialien bis zu Formteilen von beliebiger Gestalt. Durch hohe Wirkungsgrade und gute Verfügbarkeit von Mikrowellenerzeugern besitzen Mikrowellenplasmen erhebliche Bedeutung.

Verschiedene Apparate zur Plasmabehandlung sind bekannt. Darin werden Mikrowellen über eine Zuleitung und ggf. eine Kopplung in eine Plasmakammer eingestrahlt. Unterschiedliche Plasmen dienen verschiedenen Anwendungen. Für die Zuleitung der Mikrowellen werden u. a. Hohlleiter und Koaxial-Kabel, für die Kopplung u. a. Antennen und Schlitze verwendet (DE 42 35 914).

Zahlreiche Vorrichtungen von verschiedener Art dienen der Erzeugung von Mikrowellenplasmen. Nach dem Stand der Technik enthalten die Vorrichtungen eine Plasmakammer, einen darin liegenden Rezipienten bzw. Nutzraum und einen daran ankoppelnden zuleitenden Hohlleiter, oft als umgebenden Hohlleiterresonator ausgeführt. Zweckmäßig sind diese auf einer gemeinsamen Rotationsachse angeordnet. Durch Einkopplung treten die Mikrowellen aus dem Resonator in die Plasmakammer (FR-A2 26 68 676, EP-A1 0 593 931). Es hat sich aber gezeigt, daß die bekannte Art der Einkopplung z. B. durch Schlitze parallel zu der Rotationsachse und die Ausbildung des Resonators nicht vorteilhaft ist. In nachteiliger Weise können dort, je nach Anordnung der Koppelstellen, bestimmte Feldmuster, z. B. TMO_{1n} Moden, nicht angeregt werden. Wichtige Anwendungen sind dann nicht möglich.

Die Erfindung geht daher von einer Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellenplasmen mit Mikrowellenerzeuger 1, einer Ankopplung 9 des Mikrowellenerzeugers an den Resonator, einer Plasmakammer 7 mit darin liegendem Rezipienten 8 und mindestens einen diese umschließenden Hohlleiterresonator 5 aus.

Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellenplasmen der genannten Art, worin erfindungsgemäß die kurze Querschnittsseite des Resonators 5 parallel zur Achse der Vorrichtung bzw. parallel zur Achse der Plasmakammer 7 liegt und die Mikrowellenleistung aus dem Hohlleiterresonator 5 in die Plasmakammer 7 eingekoppelt wird. Der Resonator 5 umfaßt die Kammer 7 und hat mit der Kammer eine gemeinsame Wand, wobei der Resonator bevorzugt als Ring teilweise oder ganz die bevorzugt zylindrische Kammer umfaßt. Eine Ausbildung des Resonators 5 als Hohlleiter mit angepaßtem Abschluß ist ebenso möglich.

Zweckmäßig ist eine symmetrische Anordnung von 5, 7 und 8 um eine gemeinsame Achse z, wobei nicht unbedingt Rotationssymmetrie ausgebildet sein muß. Bei Notwendigkeit kann von der symmetrischen einfachsten Ausbildung abgewichen werden. Der Resonator ist bevorzugt ein Ringresonator, und kann eine ovale oder annähernd rechteckige Form besitzen. Wesentlich ist eine gestreckte Ausbildung des Querschnitts von 5 und die Ausbildung der mit der Kammer 7 gemeinsamen Wandung als die schmalste Querschnittsseite des Reso-

nators 5. Sehr bevorzugt bildet der Resonator 5 einen Ring von rechteckigem Querschnitt mit der schmalen, kurzen Rechteckseite der Kammer 7 zugewandt und als gemeinsame Wandung mit dieser ausgebildet. Möglich ist jedoch auch die Ausbildung des Resonators 5 als Hohlleiter, der die Kammerwandung umfaßt mit z. B. im wesentlichen kreisförmigem Querschnitt. Mehrere Resonatoren 5 mit gemeinsamer oder getrennten Mikrowellenerzeugern sind möglich und erlauben Kammern 7 von großen Abmessungen. Die Koppelstellen sind bevorzugt Schlitze, sehr bevorzugt schmale Schlitze, jedoch können auch Antennen, Schlaufen oder Verzweigungen die Koppelstellen bilden. Durch die Ausbildung der Koppelstellen in der schmalen bzw. schmalsten Seite kann die Kopplung an beliebigen Stellen der gemeinsamen Wandung von Resonator 5 und Kammer 7 um die Achse-z bzw. parallel zu dieser liegen. Erfindungsgemäß erfolgt eine vereinfachte Einkopplung mit erhöhter Energiedichte in der Plasmakammer. Dadurch ist eine verbesserte Beschichtung großer Werkstücke, verbesserte Leistung bei chemischen Reaktionen z. B. Abgasreinigung möglich.

Zweckmäßig und bevorzugt ist ein rechteckiger Querschnitt des Resonators 5. Weiter bevorzugt ist die toroidale bzw. im wesentlichen ringförmige Ausbildung des Hohlleiterresonators 5.

Nach Anspruch 2 ist es sehr bevorzugt, daß die Koppelstellen 6 als azimuthal ausgerichtete Schlitzkoppler, d. h. senkrecht zur z-Achse, ausgebildet sind. Dadurch liegen die Schlitze in Richtung ihrer langen Seite, exakt bzw. annähernd auf einem Kreis um die z-Achse senkrecht zu dieser. Es ist auch möglich, daß die Schlitze auf parallelen Kreisen oder in einem Winkel von z. B. 45° hierzu liegen.

Erfindungsgemäß liegt die kurze Querschnittsseite im Falle eines rechteckigen Querschnitts des Ringresonators 5 senkrecht zu dessen radialer Richtung und parallel zur Rotationsachse der Plasmakammer 7. Die Mikrowellenkopplung über die kurze Rechteckseite von 5 hat zur Folge, daß bei der Verwendung von Koppelschlitzen in der Wand zwischen 5 und 7 diese nicht parallel zur z-Rotationsachse der Plasmakammer verlaufen dürfen. Im Fall der Verwendung von azimuthalen Schlitzen in der Wand zwischen 5 und 7 wird der Ringresonator mit Paralleladmittanzen belastet.

Im Resonator 5 liegen bevorzugt nach Anspruch 4 die Koppelstellen 6 an den Stellen der elektrischen Feldmaxima der stehenden Welle. Länge und Abstand der Koppelstellen soll regelmäßig sein, doch besteht der Vorteil, daß nicht exakte Regelmäßigkeit nötig ist.

Die Koppelstellen liegen nach Anspruch 5 bevorzugt an den Stellen der gleichphasigen E-Feldmaxima der stehenden Welle.

Die Länge einer Koppelstelle, vorzugsweise der Schlitze, kann der gesamten Länge einer E-Feldhalbwellenlänge entsprechen.

Die Ankopplung kann mittels Zirkulator, Abstimmereinheit, Zuleitung und Mikrowelleneinkopplung, bevorzugt H-Verzweiger, erfolgen.

Die Plasmakammer 7 und entsprechend der umlaufende Hohlleiterresonator 5 ist nach Anspruch 8 z. B. als Ringresonator zur Anregung bestimmter Moden ausgeführt und kann entsprechend in Form eines Zylinders, besonders von Kreisquerschnitt oder auch in Form eines Würfels, einer quadratischen oder rechteckigen Säule oder dgl., auch in unregelmäßiger Form, ausgebildet sein.

Die Kammer 7 soll mit dem zur Anregung einer

TMO₁₀ Mode notwendigen Durchmesser und Höhe ausgeführt sein bzw. mit Maßen zur Anregung von TMO_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) Moden. Aufgrund z. B. der dielektrischen Eigenschaften des Rezipienten 8 kann die Feldverteilung von der idealen TMO_n ($n = 0, 1, 2, \dots$) Feldverteilung des ungestörten Resonators 5 abweichen.

Durch zusätzliche elektrische Spulen oder Permanentmagnete 8 kann in der Kammer 7 gemäß Anspruch 11 ein Magnetfeld erzeugt werden, wodurch eine Elektronen-Zyklotron-Resonanz zur Generierung hoher Ionendichten bei niedrigen Rezipientendruck von etwa $< 10^{-2}$ hPa erreicht wird.

In Abhängigkeit der Ausbildung des verwendeten Rezipienten 8 aus z. B. Quarzglas in der Plasmakammer, kann für die Plasmaerzeugung zum einen das Nahfeld der Einkoppelstellen z. B. als Schlitzantennen oder Stabantennen, oder bei entsprechenden Abmessungen der Plasmakammer, ein für den Anwendungsfall gewünschte Resonatormode, z. B. TMO_n mit $n = 0, 1, 2, \dots$ bei Zylinderresonatoren, ausgenutzt werden. Bei der TMO₁₀ Mode des Zylinderresonators wird ein langgestrecktes Plasma entlang der z-Achse erzeugt. Bei TMO_n mit $n > 0$ sind die Durchmesser in Abhängigkeit zur Länge des Resonators wählbar und große Plasmavolumina erreichbar.

Der Mikrowellenerzeuger hat z. B. eine Magnetron-Vakuummöhre der Frequenz: 2,45 GHz.

Bei der Anregung von Mikrowellenmoden in der Plasmakammer, z. B. die Zylindermoden TMO_n mit $n = 0, 1, 2, \dots$, sind die Schlitze so zu wählen, daß sie vor den gleichphasigen Maxima der Ringresonatormode angeordnet sind. Im Falle der Ausnutzung des Nahfeldes der Schlitzkoppler für die Erzeugung des Plasmas ist es jedoch ebenso möglich, die Schlitze bei jedem Maximum anzuordnen. Die Länge der Koppelschlitze sollen die Bereiche gleicher Phase nicht überschreiten, für maximale Leistungseinkopplung soll die Länge genau die Halbwellen abdecken.

In der Zeichnung wird die Erfindung durch Ausführungsbeispiele erläutert.

Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung im Schnitt mit darin liegenden Achsen x und z.

Fig. 2 eine Aufsicht dieser Vorrichtung in Richtung der z-Achse und

Fig. 3 den Schnitt einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Ankopplung von drei Resonatoren 5 an einen gemeinsamen Mikrowellenerzeuger 1 und einer gemeinsamen Plasmakammer 7.

In Fig. 1 liegt ein ringförmiger Hohlleiterresonator 5 mit der kurzen Seite seines rechteckigen Querschnitts in der Zylinderwand der Plasmakammer 7 und wird aus einem Mikrowellenerzeuger 1 über eine Ankopplung 2, 3, 4, 9 aus Zirkulator 2, Abstimmereinheit 3 z. B. 3-Stifttuner, Zuleitung 4 und Mikrowellen-Einkoppelstelle 9 z. B. als H-Verzweiger oder E-Verzweiger mit Mikrowellen versorgt. Der Pfeil in der Zeichnung zeigt die Richtung des E-Feldes an, x und z bezeichnen die Achsen. Die in der Projektion angedeuteten Koppelschlitze 6 durchdringen auf der kurzen Seite des rechteckigen Querschnitts den Ringresonator 5 dessen gemeinsame Wand mit der Plasmakammer 7. Magnetspulen 10 bewirken in diesem Falle eine Elektronen-Zyklotron-Resonanz-Anregung.

In Fig. 2 koppeln, entsprechend der in Fig. 1 gezeigten Schlitze 6 in der ringförmigen Wand des Resonators 5, die Mikrowellen in die Kammer 7 mit Rezipienten 8. Im Ringresonator 5 stehen die E-Feldvektoren senk-

recht zur Zeichnungsebene.

In Fig. 3 erfolgt über die Zuleitung durch den Speiseresonator 11 eine dreifache bevorzugt phasengleiche Ankopplung von torodialen Rechteckhohlleiterresonatoren 5 an eine Plasmakammer 7. Zur Abstimmung des Speiseresonators dient ein Kurzschlußschieber 12. Mit den Stifttunern 3 werden Resonatoren 5 abgestimmt. Die Pfeile zeigen die Ausrichtung des E-Feldes im Ringresonator an, welche erfindungsgemäß parallel zur z-Achse und senkrecht zu den Mikrowellenkoppelschlitzen steht.

Patentansprüche

1. Vorrichtung für die Erzeugung von Mikrowellenplasmen dadurch gekennzeichnet, daß die kurze Querschnittsseite des Resonators (5) der gemeinsamen Achse z zugewandt in der Wand zwischen Resonator (5) und Plasmakammer (7) liegt und die Mikrowellenleistung aus dem Resonator (5) über Koppelstellen (6) in der kurzen Seite des Querschnitts von Resonator (5) in die Kammer (7) eingekoppelt ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelstellen (6) als azimutal ausgerichtete Schlitzkoppler in der gemeinsamen Wand von (5) und (7) ausgebildet sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelstellen (6) als Antennen oder als Schlaufen in der gemeinsamen Wand von (5) und 7 ausgeführt sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß sich im Hohlleiterresonator (5) eine stehende Welle ausbildet und die Koppelstellen (6) an den Stellen der E-Feldmaxima dieser stehenden Welle angeordnet sind.

5. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß sich im Hohlleiterresonator (5) eine stehende Welle ausbildet und die Koppelstellen (6) an den Stellen der gleichphasigen E-Feldmaxima der stehenden Welle angeordnet sind.

6. Vorrichtung nach Anspruch 2, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge der einzelnen Koppelschlitze (6) der gesamte Länge der jeweiligen E-Feldmaxima entspricht.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrowelleneinkopplung (9) von (1) nach (5) durch einen H-Verzweiger, E-Verzweiger, Antenne oder eine Schlaufe erfolgt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmakammer (7) als Mikrowellenresonator in Form eines Würfels, Quaders, einer quadratischen- oder rechteckigen Säule, eines Zylinders oder dgl. ausgeführt ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß (7) als Zylinderresonator mit dem für die Anregung der TMO₁₀ Mode notwendigen Durchmesser ausgeführt wird.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß (7) als Zylinderresonator mit den für die Anregung der TMO_n Moden ($n = 1, 2, \dots$) notwendigen Zylinderdurchmessern und -höhen ausgeführt wird.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß durch zusätzliche elektrische Spulen (8) oder Permanentmagnete ein Magnetfeld in der Kammer (7) erzeugt wird.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstimmung der Mikrowellenkopplung von (1) nach (5) durch einen 3-Stifte-Tuner, magisches T-Stück oder durch einen Abschlußschleber oder ein anderes Mikrowellenabstimmenelemente auf der gegenüberliegenden Seite der Mikrowelleneinkopplung von (5) realisiert wird.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Mikrowellenerzeuger (1) zur Speisung des torodialen Rechteck-Hohlleiterresonator (5) angeschlossen sind.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere torodiale Rechteck-Hohlleiterresonatoren (5) über einen Speiseresonator (11) miteinander verbunden sind.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Hohlleiterresonatoren (5) über mehrere Mikrowellenerzeuger (1) gespeist werden.

16. Vorrichtung nach den Ansprüchen 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Resonator (5) mit einem im wesentlichen kreisförmigen Querschnitt ausgebildet ist und Koppelstellen (6) an der Berührungslinie von (5) und (7) aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

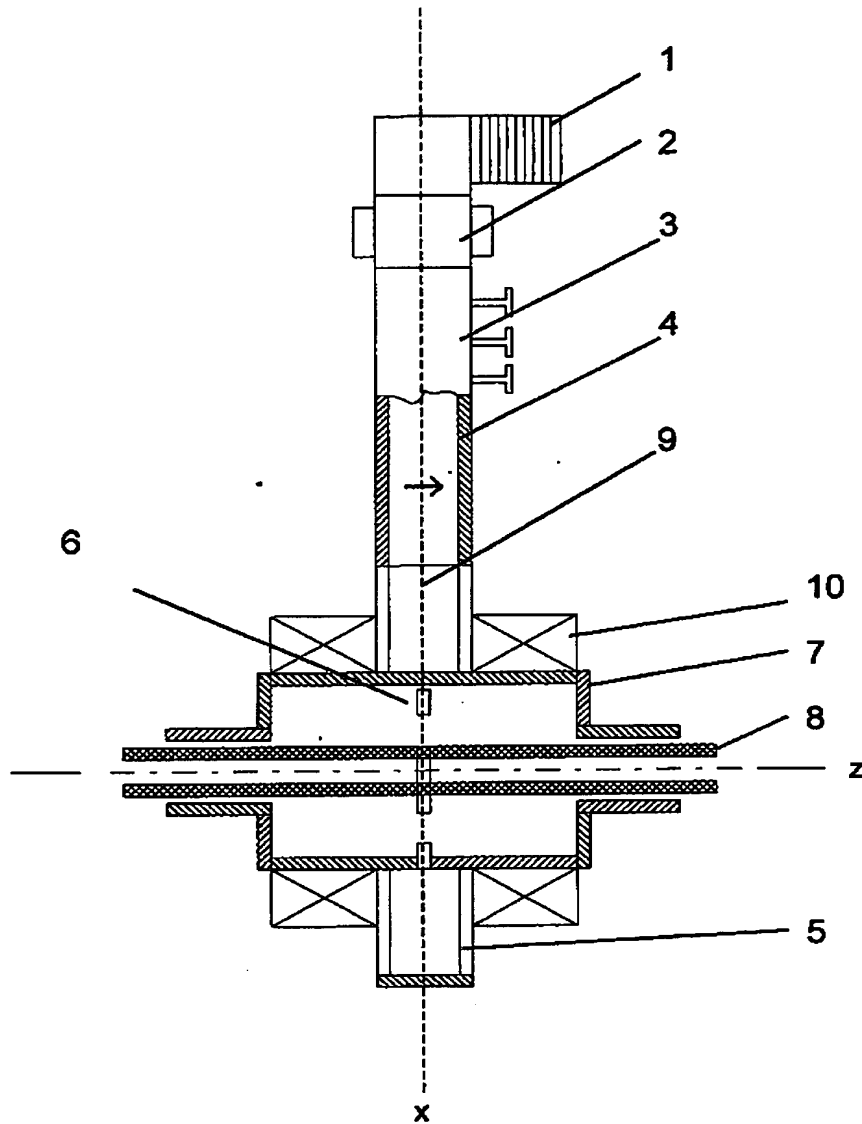


Fig.1

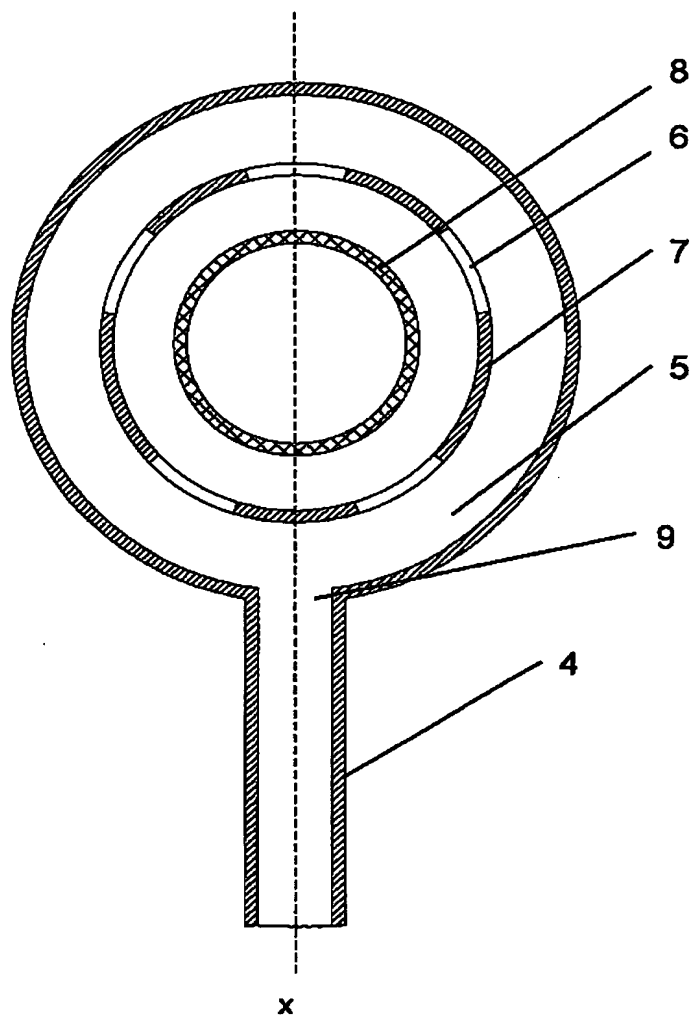


Fig.2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.